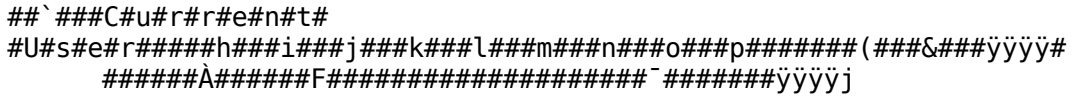

```
######ò#######################j
######¨
################¨
######¨
######################¨
######¨
######ò#######¨
######j
######j
######¨
######################¨
######¨
######¨
######¨
######¨
######j
######¨
######j
######¨
######¨
######################~
######
######j
######j
######j
######j
######¨
######¨
######¨
######¨
################################################################################
############Current State of the Art-Switches#Generation I#Generation II##<55 oC
Coolant#>90 oC Coolant#130 oC Coolant##90% Efficiency#95% Efficiency#98%
Efficiency##20 kHz Switching Speed#20-30 kHz Switching Speed#100 kHz Switching
Speed##1000 V 600 A#1200 V 600 A#1200 V 600 A##
##¤Î1¥ 2¦##§##¨##©##ÐÏ#à¡±#á################;###þÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿþÿ###
######################à��òùOh#«�##+'³Ù0###�##########�#######Ü###########
```

```
######ò#######################j
######¨
################¨
######¨
######################¨
######¨
######ò#######¨
######j
######j
######¨
######################¨
######¨
######¨
######¨
######¨
######j
######¨
######j
######¨
######¨
######################~
######
######j
######j
######j
######j
######¨
######¨
######¨
######¨
################################################################################
############Current State of the Art#Generation I (1999)#Generation II
(2002)##Inverters/ Converters####2.5 MW/m33.0 kW/kg PWM#10 MW/m37 kW/kgsoft
switching (ZVT-ZCT)#15 MW/m312 kW/kgsoft switching##Solid State Switches####70
oC Coolant1200 V1200 A90% Efficiency#90 oC Coolant1500 V 2000 A95%
Efficiency#150 oC Coolant1500 V2000 A98%  Efficiency##
##¥ 2¦##§##¨##©##ĐÏ#à¡±#á########ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÜ¥e#3À #####e###############□###□
##################□#######################################j#######j###j#######j#
######j#######j#######j#######□#######□#######□#######□#######□#######□###
###□###
###□#######ò

##1###¨#######¨#######¨#######¨#######¨#######¨#######¨#######¨#######¨#######ª#
######ª#######ª###"###Ì###□#######d###e###{###|
###¥###¦###Û###Ü###########3###4###]###^###_###p###ýúýúýúýúýúýúýø#ö#############
################################################################################
################################################################################
################################################################################
################################################################################
############################################################################u###
c###c@#h##c@###########-###B###C###Y###Z###[###\###f###t###}###□
###□###§###°###¿###À###Õ###Ö###×###Ø###æ###í###ô###############
###/###>###E###L###\###]###^###_###ý##ö#ò#ý##□#ò#ý###ò#ð###ò#ý##ö#ò#ý##□#ò#ý##-
#ò#ð###ò#ý##ö#ò#ý##ö#ò#ý##□#ò#ý##□#ò#ý##□#ò#ý###ò#ý###ò#ý###ò#ð##-
#ò#ý##ö#ò#ý##□#ò#ý###ò#ð##-
#ò#ý##ö#ò#ý##ö#ò#ý##ö#ò#ý##ö#ò#ý##□#ò#ý##□#ò#ý##□#ò#ý##□#ò#ý###ò#ý###ò#ý##-
#ò#ý###ò#ð##-
#ò#î##Ð/##î##Ð/ð################################################################
#################
```

```
######¸l#½£#¾
##$#ð#J#Ð/######$########K##########@ñÿ#####Normal#######a
      ####################"#A@òÿ¡#"##Default Paragraph
Font###############_#####_#####ÿÿÿÿ###
ÿÿ######_#############p#########_#####ÿ@HP LaserJet Series II#LPT1:#HPPCL#HP
LaserJet Series II###########
###D#@##G#######:`#Ê$###############ð#□###¾
```

```
################################################################################
############Current State of the Art#Generation I (1999)#Generation II
(2002)##Inverters/ Converters####7 MW/m36 kW/kg60 oC CoolantMultilevel PWM750 V
Bus#15 mW/m310 kW/kg> 90 oC1500 V BusPower Factor Correction (PFC)Soft Switching
(ZVT,ZCT)#20 MW/m315 kW/kg>130 oC>1500V BusPower Factor Correction(PFC)Soft
Switching(ZVT,ZCT) ##Solid State  Switches(Modules)####1200 V600 A90%Efficiency
<70 oC Ambient20 kHz Switching Speed#3000 V 1000 A95% Efficency>90 oC Ambient20-
30kHz Switching Speed#3000V1000A>97% Efficiency>130 OC Ambient>50 kHz Switching
Speed####¤*0¥ 2¦##§##¨##©##ĐÏ#à¡±#á################;###þÿ

#################ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ####B###C###X##
#[###\###b###c###o###p###□###□###©###«###ö###÷###########J###K###L###M###n###o##
#□###□###Ñ###Ò###########9###:###;###<###P###ýûøýûýõýõýõýõýõýõýûýûýõýõýõýûó#ñ#
################################################################################
################################################################################
################################################################################
####################################################################u###c###c,#h
##^#c,##c@##c,##"########-
###B###C###Y###Z###[###\###d###l###z###□###□###□###¥#######¸###Ö###ï###ø#######
      #######,###2###A###L###M###l###m###n###o###v###|
###□###□###ý##ö###ý######ý######ð######ý##ö###ý######ý######ã######ý##ö###ý##ö##
#ý##ö###ý##ö###ý##ö###ý######ý######ý######ý######ý######ý######ý######ý######ý#
#####ý######ý######ý######ý######ý######Ö######ý##ö###ý######ý######É######ý##ö#
##ý##ö###ý##ö###ý##ö######
```

```
######ò#######################j
######¨
################¨
######¨
######################¨
######¨
######ò#######¨
######j
######j
######¨
######################¨
######¨
######¨
######¨
######¨
######j
######¨
######j
######¨
######¨
######################~
######□
######j
######j
######j
######j
######¨
######¨
######¨
######¨
################################################################################
############System#Rating (kW)#Voltage (VDC)#WT (kg)#Volume (m3)#Coolant Temp.
(o C)#Description##Generator Power Control Unit#872 #1500#76#0.028#68#AC-DC
Rectifier##Motor Power Control Unit#800 (per side)#1500#127#.062#68#DC-AC
Variable Frequency Output##ETC Gun Power Supply#855#1500 /16000#45.4#0.28#68#DC-
DC converter to charge ETC gun energy storage unit ##
##¥ 2¦##§##¨##©##ÐÏ#à¡±#á######ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ#*p453X#*c16389D#*c118E#(s191W######ÿÞ#$#####□□####□####À####à###
#ü####ÿ####Çà###□ø###□?###□#À####ø####□#####À####ø####~####ÿÀ###ÿà##?
ÿÀ##ÿÿ#□#ÿø#□?
ÿà#□ÿÿ##ïÿü##ÿÿà##ÿÿ□##ÿþ###ÿð###ÿÀ###þ####ø####à####À####À####□####□#####*c44E#
(s49W######ÿù#######L#À##ø#~##~##þ##ÿ##ÿ#□ÿ#À□#@~#@<#`#*c65E#(s394W######ÿÍ#6#3#
6#Ô######
######2###3###D###F###a###r###ýúýúýø############################################
################################################################################
################################################################################
################################################################################
################################################################################
################################################################################
##################u###c #h##c ###############!
###)###5###I###U###V###s###x###}###□###□###□###□###□###³###Â###Ç###Ë###Ð###Ó###ó
###ô###     ###
###############$###'###^###_###`###a###ý##Ú#{#ý##û#{#ý######ý##~#{#ý##n#{#ý##n#{
#ý####{#ì####{#ý##Ú#{#ý##û#{#ý##2#{#ý##~#{#ý##n#{#ý##n#{#ý####{#ì####{#ý##Ú#{#ý#
#û#{#ý##2#{#ý##~#{#ý##n#{#ý##n#{#ý####{#ì####{#ý##Ú#{#ý##û#{#ý##2#{#ý##~#{#ý##~#
{#ý##n#{#ý##n#{#ý####{#ì####{#ê##Ð/{#ê##Ð/
{###############################################################################
############¸l#½Ì#¾###$#Ô#¨°###I!□
(w/#############K##########@ñÿ#####Normal#######a
      ####################"#A@òÿ¡#"##Default Paragraph
Font#############a#####a#####ÿÿÿÿ###!
ÿÿ#####a############r#########a#####ÿ@HP LaserJet Series II#LPT1:#HPPCL#HP
```

```
######ò#######################j
######¨
################¨
######¨
######################¨
######¨
######ò#######¨
######j
######j
######¨
######################¨
######¨
######¨
######¨
######¨
######j
######¨
######j
######¨
######¨
######################~
######
######j
######j
######j
######j
######¨
######¨
######¨
######¨
#################################################################################
############Device#Description#Date Required##Switching Module#1200V/600A >90 oC
1000V/2000A >90 C3000V/1000A >90oC#1 October 19972nd Quarter 19981st Quarter
1999##Inverter/ Converter#100 kW for hybrid HMMWV 270 V#July 1998##Inverter/
Converter#500 kW for Bradley Vehicle 550V#September 1999##Inverter/
Converter#1000 kW for 30 Ton Demonstrator 1500 V#December 2001####¤î/
¥ 2¦##§##¨##©##ÐÏ#ÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿÿ
ÿÿ096Y#*r1A#*b1W<#*rB#*p800Y#*r1A#*b63W##########################################
#####################<#*p1938X#*rB#*p1568Y#*r1A#*b33W###########################
#####à#*p1938X#*rB#*p2096Y#*r1A#*b1W<#*rB#*p800Y#*r1A#*b63W#######################
##########################################<#*p1937X#*rB#*p1568Y#*r1A#*b33W######
######B###C###f###g###i###}###ýúýúýø#############################################
#################################################################################
#################################################################################
#################################################################################
#################################################################################
#################################################################################
###################u###c,#h##c,################!
###"###3###E###W###i###j###y############°###Î###Ø###Ù###í###
###########1###X###f###g###h###i###ý##ö###ý######ý######ð######ý##ö###ý######ý##
####ý######ý######ý######ý######ý######ð######ý##ö###ý######ý######ð######ý##ö##
#ý######ý######ð######ý##ö###ý######ý######ð######î######î##í/###################
#################################################################################
#################################################################################
###
```

#1#########1#####,###########1#########1####ÿ□#ÿÿd######3##d#########2##□##ZøÍþ¦
#ã#ÿÿ####ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd######0##d#########r###Presented by H. SinghT.F. Podlesak
Army Research LaboratoryFort Monmouth, NJPEBB Quarterly Review 9 July 1996

```
#################,#########################ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
      s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########□###Very limited interior volume
Need to minimize weightNeed to reject energy loss to often high temperature
ambient air (desert conditions)#
```

#####,###########
####ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########Ó###To demonstrate compact efficient motor drives and inverters for each major type of Army ground vehicle HMMWV(transport vehicle)Armored Personnel Carrier(M113)Infantry Fighting Vehicle(Bradley)Main Battle Tank#

#################,##########################ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########Ê###Insert advanced generator/motor controllers into existing and future hybrid electric demonstrator vehicles. Demonstrate the gain to be had by replacing current power electronics with advanced technology

#################,#########################ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
      s#ÿÿ####ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########Î###Replace existing power semiconductors with advanced devicesReduce sizeReduce cooling requirements Further improve inverters with advanced topology invertersZero Voltage TransitionZero Current Transition

#5#########5#####,###########5#########5####ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
s#ÿÿ####ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########º###High temperature operation□s biggest payoff is not in the size/mass of the inverter but in the reduction in the cooling systemIncreasing coolant temperature from 55 oC to 85 oC in the prototype vehicle reduces cooling system volume by 60%Power factor correction and soft switching inverter topology can reduce the engine prime power requirement by 15-20%. This reduces the overall vehicle size/weight/logistic support and increases range.

#)#########)#####,###########)#########)####ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########□###Prime Power- 66 kW turbo dieselGenerator- 70 kW permanent magnet machineDC Bus Voltage- 270 VoltsTraction Motors-permanent magnet brushless32 kW continuous63 kW peakGenerator/Motor Controller- 53 kWMaximum Inlet Coolant Temperature- 55 oC water-ethylene glycol(WEG)Controller Mass- 13.1 kg eachController Volume- .016 m3Power Device- 1200 V, 600 A IGBT moduleSwitching Frequency- 20 kHz PWMDemonstrator delivery- November 1997Begin two year demonstration project in FY 97Project Objectives Reduce drive size by one-halfReduce cooling system size by one-thirdIncorporate available high temperature components into design (silicon carbide Schottky diodes)«

```
#### A£pöpü□      □#############ýÿ##¤#######¾###########r##□##ªö-ùV    Ãûÿÿ
###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########1###Medium Weight (15-30 Ton) Tracked Combat
Vehicles#
```

#1#########1#####,###########1#########1####ÿ□#ÿÿd#########d#####
###2##□##ªö□üV   s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#############Several medium
weight hybrid tracked vehicle demonstrators are being developedComposite Armored
Vehicle (CAV)Bradley Fighting VehicleFuture Scout VehicleArmored Personnel
Carrier(M113)Bradley Fighting vehicle is representative of this type of combat
vehicle ÿ

###¦###Existing electric demonstratorBeing converted to hybrid vehicle by end of FY96New batteriesUses same diesel electric generator as HMMWV275 HP drive for each track

#4#########4#####,###########4#########4####ÿ□#ÿÿd#########d########2##□##ªö□üV
s#ÿÿ ###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########µ###Delivery - FY 97Prime power-
275 kW diesel with integrated alternator DC bus voltage- 550 VTraction
motors(2)- 250 kWTraction motor inlet temperature- 90 oCMotor weight- 350 kg
Motor controller current3 phase2000 A per phaseone controller per sprocket drive
Maximum controller input voltage- 700 VController coolant- 72 oC water-ethylene
glycol (WEG)Switch requirements- 1200 V, 1200 A parallel modules to achieve
current rating#

```
#################,##########################ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
      s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########□###Currently in conceptual stage
Projected 1 MW power systemIncorporating variety of electrical systemsdrivegun
protectionsuspension and actuation#
```

```
#################,##########################ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
      s#ÿÿ$###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########w###Enables soft switching of
power electronicsReduces switching lossesLessens cooling requirementsIncreases
reliabilityE
```

÷(################r##□##ªö-ùV
Ãûÿÿ$###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########a###Impact of High Temperature (>130 oC Coolant) 3000V/1000A Switch on Hybrid Electric Combat Vehicle#

#a#########!#####$###############$#########?
#####$###########a#########a####ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªöÝýV

Ã#ÿÿ####ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########□###Makes it possible to collocate and integrate the electronics with the electrical machinesCooling of power electronics can be an integral part of the assemblyCommon cooling fluid (engine oil) for power electronics and electrical machines 1500V power distribution reduces conductor size and weightSimplified power distribution results from having only two DC conductors to distribute power

```
#################,##########################ÿ□#ÿÿd#########d#########2##□##ªö□üV
      s#ÿÿ,###ÿÿ#####ÿ□#ÿÿd#########d#########®###Demonstrators are or will be
availableMajor reductions in size and gains in reliability may be realized if
demonstration programs utilizing advanced components are initiated
```

```
###B######N#######Z#######b#######□#######>###Power Electronics for Army Ground
Combat Vehicles using PEBBs###################EPSD#########################
%###y:\apps\winapps\powerpnt\default.ppt#########EPSD##########14####@###Æ±#bGo
»#@####(eFb\»#@###ÖzF|Go»#################Microsoft PowerPoint
4.0##G###P###ÿÿÿÿ######8cjJ####     #########1#########&#####ÿÿÿÿ######Àô□÷@#p#
###&###
#ÿÿÿÿ##########&###$#ÿÿÿÿ######TNPP##Microsoft PowerPoint####&###
```